

Coaxial wav guid las r with stable r sonator

Coaxial waveguide laser with stable resonator

Patent Number: DE4424726

Publication date: 1996-02-01

Inventor(s): ANIKITCHEV SERGEJ DR (RU); SOLOV EV VLADIMIR (RU); ANAN EV IOURI PROF (RU); LOPOTA VITALY (RU); SCHANZ KLAUS DIPLO PHYS (DE)

Applicant(s): ROFIN SINAR LASER GMBH (DE)

Requested Patent: DE4424726

Application Number: DE19944424726 19940713

Priority Number(s): DE19944424726 19940713

IPC Classification: H01S3/081; H01S3/06; H01S3/223; H01S3/0971

EC Classification: H01S3/03W, H01S3/081

EC Classification: H01S3/03W; H01S3/081

Equivalents:

Abstract

The laser has a hollow cylindrical active medium (6) and a resonator mirror (8) cooperating with one of its end faces, directing the laser radiation (20) obtained from the active medium into a hollow space (32) enclosed coaxially by the active medium. A second resonator mirror (10) is provided at the second end face of the active medium, with a third partially transparent resonator mirror (12) at this end face of the hollow space. Pref. the first resonator mirror has inner and outer rotationally symmetrical parabolic mirror surfaces with a constant annular focus.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

6



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ **Patentschrift**
⑯ **DE 44 24 726 C1**

⑯ Int. Cl. 5:
H 01 S 3/081
H 01 S 3/06
H 01 S 3/223
H 01 S 3/0971

⑯ Aktenzeichen: P 44 24 726.5-33
⑯ Anmeldetag: 13. 7. 94
⑯ Offenlegungstag: —
⑯ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 1. 2. 96

DE 44 24 726 C1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:
Rofin-Sinar Laser GmbH, 22113 Hamburg, DE

⑯ Vertreter:
Fuchs, F., Dr.-Ing., Pat.-Anw., 81641 München

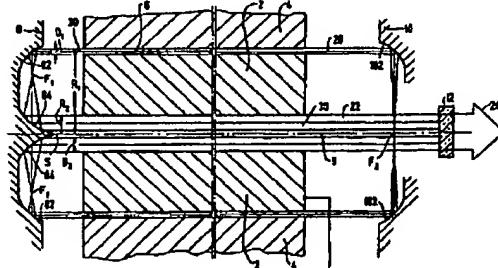
⑯ Erfinder:
Anikitchev, Sergej, Dr., St. Petersburg, RU;
Sokol'ev, Vladimir, St. Petersburg, RU; Anan'ev,
Iouri, Prof., St. Petersburg, RU; Lopota, Vitaly, St.
Petersburg, RU; Schanz, Klaus, Dipl.-Phys., 21465
Reinbek, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 42 03 225 A1
DE 40 22 818 A1
US 50 89 492
EP 01 00 089 A1

⑯ **Koaxialer Laser mit einem stabilen Resonator**

⑯ Ein koaxialer Laser mit einem stabilen Resonator, insbesondere ein koaxialer Wellenleiterlaser, enthält ein hohzyndrisches aktives Medium (8) sowie einen gegenüber der Stirnfläche des aktiven Mediums (6) angeordneten ersten Resonatorspiegel (8), der die aus dem aktiven Medium (8) austretenden Laserstrahlen (20) in einen koaxial vom aktiven Medium (8) umgebenen Hohlraum (30, 32) durch eine teleskopische Abbildung einkoppelt. Insbesondere ist ein w-axicon-ähnlicher erster Resonatorspiegel (8) vorgesehen, der eine äußere und eine innere rotationssymmetrische parabolische Spiegelfläche (82 bzw. 84) aufweist, deren ringförmige Foki wenigstens annähernd zusammenfallen.



DE 44 24 726 C1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen koaxialen Laser mit einem stabilen Resonator, insbesondere auf einen koaxialen Wellenleiterlaser.

Laser, bei denen das laseraktive Medium einen ringförmigen Querschnitt und die Gestalt eines Hohlzylinders hat werden als koaxiale Laser bezeichnet. Koaxiale Laser mit hoher Leistung, insbesondere koaxiale CO₂-Laser, haben zwangsläufig einen großen Durchmesser. Bei koaxialen Laser mit einfachen stabilen Resonatoren, bei denen ein Strahl mit ringförmigem Querschnitt aus dem Resonator ausgekoppelt wird, ist dies aber mit einer sehr großen azimuthalen Fresnelzahl Fazimut = $(\pi r)^2/(\lambda L)$ (Mittlerer Radius des aktiven Mediums r, Länge des Resonators L, Wellenlänge λ) verbunden, so daß bei großer Leistung keine hohe Strahlqualität erreicht werden kann.

In der US-A-5 099 492 ist deshalb bei einem ringförmigen oder koaxialen CO₂-Laser die Verwendung eines stabilen Resonators mit einem resonatorinternen Axiconspiegel vorgeschlagen worden. Bei diesem bekannten CO₂-Laser bilden zwei konzentrisch bzw. koaxial zueinander angeordnete hohlzylindrische Elektroden einen Entladungsraum mit ringförmigem Querschnitt. In diesem Entladungsraum befindet sich als laseraktives Medium CO₂-Gas. Gegenüber einer der Stirnflächen dieses Entladungsraumes ist ein ringförmiger ebener erster Resonatorspiegel angeordnet. Der anderen Stirnfläche des Entladungsraums ist als zweiter Resonatorspiegel ein w-förmiges Axicon mit zwei einander zugewandten Spiegelflächen zugeordnet. Diese Spiegelflächen haben die Gestalt einer Mantelfläche eines Kegelstumpfes bzw. eines dazu koaxialen Kegels. Der gegenüber dem w-förmigen Axicon aus der ringförmigen Stirnfläche des Entladungsraumes austretende Strahl hat ebenfalls einen ringförmigen Querschnitt. Er wird durch das w-förmige Axicon in einen Strahl mit zylindrischem Querschnitt umgewandelt, der sich innerhalb des von der inneren hohlzylindrischen Elektrode gebildeten Hohlraumes in Richtung der Resonator- oder Zylinderachse ausbreitet. Der auf diese Weise durch das w-förmige Axicon komprimierte Strahl trifft nach Durchlaufen des von der inneren hohlzylindrischen Elektrode gebildeten Hohlraumes auf einen im Zentrum des ersten Resonatorspiegels angeordneten teildurchlässigen Spiegel und wird dort teilweise aus dem Resonator ausgekoppelt. Zwischen dem w-förmigen Axicon und dem teildurchlässigen Spiegel wird durch Beugungseffekte ein Mode mit niedriger Ordnung und hoher Strahlqualität erzeugt.

Die Resonatoranordnung dieses bekannten Lasers ist jedoch für koaxiale Laser, bei denen der Abstand zwischen der inneren Elektrode und der äußeren Elektrode relativ klein ist, nicht geeignet. Dies ist insbesondere bei koaxialen Wellenleiterlasern der Fall, wo der zwischen der inneren Elektrode und der äußeren Elektrode gebildete Entladungsraum einen äußeren koaxialen Wellenleiter bildet, dessen radialer Wandabstand im Millimeterbereich liegt. Mit einem kleinen Wandabstand und einer dementsprechend schmalen Auskoppelapertur für den aus dem Entladungsraum austretenden Strahl ist eine hohe Strahldivergenz verbunden, die zu hohen Beugungsverlusten führt. Diese Beugungsverluste sind um so größer, je größer die optische Weglänge zwischen der Auskoppelapertur des äußeren Wellenleiters und der Stirnfläche des von der inneren Elektrode umschlossenen, beispielsweise ebenfalls als Wellenleiter

ausgebildeten Hohlraumes ist, so daß mit einem w-förmigen Axicon mit kegelmantelförmigen Spiegelflächen gemäß der bekannten Resonatoranordnung nur ein unbefriedigender Wirkungsgrad erzielt werden kann.

5 Darüber hinaus sind bei Hochleistungslasern der Strahlkompression Grenzen gesetzt, die durch die maximal zulässige Belastung der resonatorinternen Optiken verursacht sind. Um beispielsweise bei einem CO₂-Wellenleiterlaser mit einer Resonatorlänge von 2 m eine 10 Fresnelzahl in der Größenordnung von 3 zu erreichen um eine niedrige Modenordnung zu erhalten, müßte der ringförmige Strahl auf einen Durchmesser von 5 mm komprimiert werden. Unter Beibehaltung der dem Wandabstand der Elektroden entsprechenden Ringdicke D₁ des aus den Entladungsraum austretenden Strahles von beispielsweise 1,5 mm und einer Kompression des Durchmessers auf 2R₂ = 5 mm, würde dann die Querschnittsfläche des komprimierten ebenfalls ringförmigen Strahles etwa $2\pi R_2 D_1 \approx 24 \text{ mm}^2$ betragen. Bei einer Leistung P von etwa 5 kW wäre dies eine Flächenleistungsdichte von 21 kw/cm². Dies ist bei Hochleistungs-CO₂-Lasern aufgrund der Zerstörschwellen derzeit bekannter Werkstoffe nicht möglich. Mit dem in der US-A-5,099,492 vorgeschlagene Resonator ist eine niedrige Fresnelzahl nur durch eine Erhöhung der Resonatorlänge möglich. Dies steht jedoch dem grundlegenden Ziel entgegen, kompakte CO₂-Laser zu gestalten.

Die Verwendung resonatorinterner Axiconspiegel ist auch aus der EP 0 100 089 A1 für einen Gaslaser mit einem zylindrischen Entladungsraum bekannt.

In der DE 40 22 818 A1 ist ein Festkörperlaser offenbart, bei dem mehrere Festkörperstäbe koaxial zueinander angeordnet und optisch durch eine resonatorinterne Spiegelanordnung gekoppelt sind.

Aus der DE 42 03 225 A1 ist ein koaxialer Wellenleiterlaser bekannt, bei dem im Strahlengang des Laserstrahls außerhalb des Resonators ein Axicon mit gekrümmten Spiegelflächen angeordnet ist, das lediglich zur resonatorexternen Strahlformung dient. Die Resonatorspiegel selbst haben ebene Spiegelflächen. Die innerhalb des Resonators auftretenden Beugungsverluste können auf diese Weise nicht verringert werden.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen koaxialen Laser mit einem stabilen Resonator anzugeben, bei dem auch bei kleinen Abstand der koaxial zueinander angeordneten Elektroden und bei einem kurzen Resonator eine hohe Strahlqualität und ein hoher Wirkungsgrad erzielt werden kann.

Die genannte Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit einem koaxialen Laser, mit den Merkmalen des Patentanspruches 1. Ein koaxialer Laser, insbesondere ein koaxialer Wellenleiterlaser mit einem stabilen Resonator sowie einem hohlzylindrischen aktiven Medium, enthält einen gegenüber der Stirnfläche des aktiven Mediums angeordneten ersten Resonatorspiegel, der die aus dem aktiven Medium austretenden Strahlen durch teleskopische Abbildung in einen koaxial vom aktiven Medium umgebenen Hohlraum einkoppelt.

Durch die Verwendung eines ersten Resonatorspiegels, der eine Strahlformung durch teleskopische Abbildung des äußeren ringförmigen Strahles in einen inneren, vorzugsweise ebenfalls ringförmigen Strahl ermöglicht, kann im Unterschied zu einem im Stand der Technik bekannten kegelförmigen Axicon der Durchmesser des Strahls verkleinert und gleichzeitig seine Ringdicke vergrößert werden. Dadurch kann erreicht werden, daß die Intensität des inneren Strahles und die Intensität des äußeren Strahles annähernd gleich bleiben und eine

übermäßige Belastung der resonatorinternen Optiken durch die mit einem Axicon durchgeführte Strahlkompression wird vermieden.

Durch diese Abbildung mit dem ersten Resonatorspiegel treten außerdem auch bei einer schmalen Auskopplaperatur, wie sie insbesondere bei koaxialen Wellenleiterlasern vorliegen, deutlich geringere Beugungsverluste auf, weil durch eine Erhöhung der Ringdicke die Strahldivergenz reduziert wird.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird die teleskopische Abbildung durch einen ersten Resonatorspiegel bewirkt, der eine äußere und eine innere rotationssymmetrische parabolische Spiegelfläche aufweist, deren ringförmige Fokusse wenigstens annähernd zusammenfallen. Der erste Resonatorspiegel hat somit eine einem herkömmlichen w-Axicon ähnliche Gestalt, mit dem Unterschied, daß anstelle von kegelförmigen Spiegeln parabolische Spiegelflächen vorgesehen sind.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist ein zweiter Resonatorspiegel mit einer toroidalen Spiegelfläche vorgesehen. Dadurch wird ebenfalls eine verlustarme Einkopplung der vom Resonatorspiegel reflektierten Strahlen in das aktive Medium gewährleistet.

In einer besonderen vorteilhaften Ausführungsform ist ein zweiter Resonatorspiegel mit einer rotationssymmetrischen parabolischen Spiegelfläche vorgesehen. Dadurch wird neben einer guten Einkopplung in das aktive Medium eine gute azimutale Kopplung aller Segmente des aktiven Mediums erreicht.

Vorzugsweise ist ein erster Resonatorspiegel vorgesehen, der den aus dem aktiven Medium austretenden Laserstrahl in einen koaxial vom aktiven Medium umgebenen zylindrischen oder im Querschnitt kreisringförmigen Hohlraum einkoppelt.

Die der Erfindung zugrundeliegenden Überlegungen sind prinzipieller Natur und nicht auf ein spezielles aktives Medium beschränkt. Ihre Anwendung ist jedoch vorzugsweise für gasförmige aktive Medien, insbesondere ein CO₂ enthaltendes aktives Medium, vorgesehen, das sich in einem von einer koaxialen Elektrodenanordnung gebildeten ersten Entladungsraum befindet.

In einer insbesondere für CO₂-Laser geeigneten Ausgestaltung der Erfindung werden die aus dem ersten Entladungsraum austretenden Strahlen in einen von ihm umgebenen Hohlraum mit ringförmigem Querschnitt eingekoppelt, der einen zweiten Entladungsraum bildet.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Ausführungsbeispiele der Zeichnung verwiesen, in denen

Fig. 1 ein koaxialer Laser gemäß der Erfindung in einem Längsschnitt schematisch veranschaulicht ist. In

Fig. 2 und 3 ist eine vorteilhafte Ausgestaltung eines Lasers gemäß der Erfindung jeweils in einem Querschnitt dargestellt.

Fig. 3 zeigt schematisch eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ebenfalls in einem Längsschnitt.

Gemäß Fig. 1 enthält ein koaxialer CO₂-Laser eine innere und eine äußere hohlyzindrische Elektrode 2 bzw. 4 die koaxial zueinander um eine gemeinsame Zylinderachse 5 angeordnet sind und deren einander zugewandten Oberflächen einen ersten Entladungsraum 6 mit ringförmigem Querschnitt bilden. Die im Entladungsraum 6 befindliche CO₂-Gas-Mischung bildet das aktive Medium, so daß die geometrische Form des Entladungsraums 6 auch die geometrische Form des aktiven Mediums festlegt.

Gegenüber den Stirnflächen dieses Entladungsraumes 6 sind ein erster und ein zweiter totalreflektierender Resonatorspiegel 8 bzw. 10 angeordnet. Der erste Resonatorspiegel 8 ist an eine angenehrt w-förmiges Axicon mit rotationssymmetrischen parabolischen Spiegelflächen 82 und 84. Die äußere und innere Spiegelfläche 82 bzw. 84 haben in der Regel eine unterschiedliche Krümmung. In beiden Fällen handelt es sich um Flächen, die durch die Rotation zweier unterschiedlichen Parabeln gehörenden Parabelabschnitte um eine parallel zur Symmetriechse dieser Parabel verlaufende Rotationsachse hervorgehen, die mit der Symmetrie- oder Zylinderachse 5 der koaxialen Elektroden 2 und 4 zusammenfällt. Diese Spiegelflächen 82 und 84 sind hinsichtlich ihrer Krümmung und Anordnung derart aufeinander abgestimmt, daß sie einen gemeinsamen kreislinienförmigen Fokus F₁ besitzen, d. h. die Parabeln, aus denen diese Spiegelflächen 82 und 84 hervorgehen haben eine gemeinsame Parabolachse und einen gemeinsamen Brennpunkt.

Bei dem gegenüber der anderen Stirnfläche des Entladungsraumes 6 angeordneten zweiten Resonatorspiegel 10 handelt es sich um einen totalreflektierenden Parabolspiegel, dessen Spiegelfläche 102 durch ein Rotationsparaboloid um die Zylinderachse 5 gebildet wird. Der geometrische Fokus F₂ dieses parabolischen Resonatorspiegels 10 liegt dann auf der Zylinderachse 5. Mit diesem parabolischen zweiten Resonatorspiegel 10 wird ein aus dem ersten Entladungsraum 6 austretender Strahl an einer um 180° versetzten Stelle wieder in den Entladungsraum 6 eingekoppelt. Durch diese Maßnahme wird eine sehr gute Kopplung aller azimutalen Bereiche des ersten Entladungsraumes 6 erzielt.

Der aus dem ersten Entladungsraum 6 zum ersten Resonatorspiegel 8 austretende Strahl 20 hat einen annähernd ringförmigen Querschnitt mit einem Außenradius R₁ und einer Ringdicke D₁. Er wird vom ersten Resonatorspiegel 8 in einen komprimierten Strahl 22 mit ringförmigem Querschnitt mit Außenradius R₂ und Ringdicke D₂ umgewandelt. Der erste Resonatorspiegel 8 ist eine Kombination eines konventionellen w-förmigen Axicons mit einem parabolischen Spiegelteleskop. Die Abmessungen R₁, D₁ des äußeren Strahls 20 werden durch die gewünschte Strahleistung bestimmt. Die Brennweiten der Spiegelflächen 82 und 84 werden so gewählt, daß der komprimierte Strahl 22 bei maximaler Ringdicke D₂ möglichst verlustarm in den inneren Hohlraum 30 eingekoppelt wird. Der Außenradius des inneren Hohlraums 30 wird so gewählt, daß eine möglichst niedrige azimutale Fresnelzahl erreicht wird.

Der komprimierte Strahl 22 trifft nach Durchqueren des Hohlraumes 30 auf einen teilreflektierenden Transmissionsspiegel 12, vorzugsweise ein ZnSe-Spiegel mit einer planen oder sphärischen Oberfläche, und wird dort teilweise als Laserstrahl 24 aus dem Resonator ausgekoppelt.

Die Resonatorspiegel 8, 10 sowie der Transmissionsspiegel 12 bilden einen stabilen Resonator mit der Länge L, der der optischen Weglänge eines halben Strahlumlaufes entspricht.

In der Figur sind die Ausbreitungsbedingungen der Strahlen 20 und 22 anhand von geometrischen Strahlen veranschaulicht. In der Praxis liegen jedoch durch Beugung verursachte divergente Strahlen mit zum Rand abklingender Intensitätsverteilung vor, so daß die in der Figur veranschaulichte und sich aus der geometrischen Optik ergebende scharf abgegrenzte ringförmige Struktur des Strahles 22 nicht auftritt und auch im Zentrum

des Strahles 22 eine von Null verschiedene Intensität vorliegt.

Um eine übermäßige thermische Belastung der nur schlecht zu kühlenden Spitze des inneren Parabolspiegels 84 sowie zusätzliche Beugungsverluste zu vermeiden, ist es auch bei einem im Querschnitt kreisförmigen inneren Hohlraum 30 zweckmäßig, die beiden Parabolspiegel 82 und 84 derart zu dimensionieren, daß bei geometrischer Strahlausbreitung die Randstrahlen des Strahlenbündels 20 nicht bis an die Spitze S des inneren 10 Parabolspiegels 84 herangeführt werden, d. h. die theoretisch maximale Auffüllung ($D_1 = R_2$) zu vermeiden.

Eine weitere Verringerung der azimutalen Fresnelzahl kann dadurch erreicht werden, daß gemäß Fig. 2 ein zweiter, beispielsweise planer Resonatorspiegel 10 15 vorgesehen ist, der in beispielsweise vier oder mehrere zueinander koaxiale Segmente 10a-10d unterteilt ist. Diese Segmente werden durch nichtreflektierende Stege 11a-11d voneinander getrennt, deren Breite etwa der Höhe des Entladungsraumes 6 entspricht. Durch 20 diese Segmentierung wird ein Vielstrahlaser realisiert, dessen Einzelstrahlen eine hohe Strahlqualität haben. Eine kohärente Kopplung der Segmente wird dabei durch Beugung an den Stegen 11a-11d erreicht. Die Kopplung kann zusätzlich durch die Verwendung eines 25 in Segmente unterteilten parabolischen zweiten Resonatorspiegel 10, wie er beispielsweise in Fig. 1 dargestellt ist, verbessert werden.

In einer weiteren Ausgestaltung können gemäß Fig. 3 auch die Elektroden 2 und 4 in Segmente 2a-2d bzw. 30 4a-4d aufgeteilt werden. Dies erleichtert zusätzlich die Zu- und Abfuhr eines zur Kühlung der Elektroden 2 und 4 erforderlichen Kühlmediums.

Gemäß Fig. 4 kann anstelle eines parabolischen zweiten Resonatorspiegels auch ein toroidaler Resonatorspiegel 110 vorgesehen sein, der zusätzlich eine fokussierende Wirkung besitzt und bewirkt, daß der aus dem Entladungsraum 6 austretende Strahl 20, der aufgrund von Beugungseffekten entgegen der zeichnerischen Darstellung divergent ist, in sich selbst abgebildet wird 35 und nahezu ohne Verluste wieder in den Entladungsraum 6 eingekoppelt wird. Diese Ausführungsform ist insbesondere für einen Wellenleiterlaser geeignet, bei dem der Abstand der äußeren Elektroden so klein ist, daß die Ausbreitungsbedingungen für die sich innerhalb 40 dieser Hohlräume ausbreitenden elektromagnetischen Wellen im wesentlichen durch ihre Wellenleitereigenschaften, d. h. Reflexion an den Wänden dieser Hohlräume bestimmt werden. In diesem Fall spricht man von einem koaxialen Wellenleiterlaser. Dies ist für CO₂-Laser, die Strahlung mit einer Wellenlänge $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ erzeugen, bereits der Fall, wenn die Höhe des Entladungsraumes 6 wenige Millimeter beträgt.

In der Figur ist außerdem noch eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung veranschaulicht, bei der koaxial zu 55 den Elektroden 2 und 4 innerhalb der Elektrode 2 ein zylindrischer Stab 31 angeordnet ist, der mit der Elektrode 2 einen Hohlraum 32 mit ringförmigem Querschnitt bildet, in dem sich die von der Spiegelfläche 84 reflektierten Strahlen in Richtung zu einem vorzugsweise sphärischen Auskoppelspiegel 13 ausbreiten.

Die Abbildungseigenschaften des ersten Resonatorspiegels sind an den Außenradius R₂ und die Dicke D₂ des inneren Hohlraumes 32 entsprechend den vorstehenden Ausführungen angepaßt.

Der innere Stab 31 kann bei einem Gasentladungslaser ebenfalls als Elektrode ausgebildet sein, so daß durch den Hohlraum 32 ein zweiter, ebenfalls mit einem

aktiven Medium gefüllter Entladungsraum entsteht. In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des in Fig. 4 dargestellten Lasers kann außerdem eine Segmentierung, wie sie anhand der Fig. 2 und 3 erläutert ist, 5 vorgenommen werden.

Patentansprüche

1. Koaxialer Laser, insbesondere koaxialer Wellenleiterlaser, mit einem stabilen Resonator und einem hohzyndrischen aktiven Medium (6), der einer gegenüber der einen Stirnfläche des aktiven Mediums (6) angeordneten ersten Resonatorspiegel (8) enthält, der die aus dem aktiven Medium (6) austretenden Laserstrahlen (20) durch teleskopische Abbildung mittels zweier gekrümmter Spiegelflächen in einen koaxial vom aktiven Medium (6) umgebenen Hohlraum (30, 32) einkoppelt, und der einen gegenüber der anderen Stirnfläche des aktiven Mediums (6) angeordneten zweiten Resonatorspiegel (10, 110) aufweist, wobei auf letzterer Stirnseite des Hohlraumes (30, 32) ein dritter teildurchlässiger Resonatorspiegel (12) angeordnet ist.

2. Koaxialer Laser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Resonatorspiegel (8) eine äußere und eine innere rotationssymmetrische parabolische Spiegelfläche (82, 84) aufweist, deren ringförmige Fokusen wenigstens annähernd zusammenfallen.

3. Koaxialer Laser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der gegenüber der anderen Stirnfläche des aktiven Mediums (6) liegende zweite Resonatorspiegel (10) mit einer rotationssymmetrischen parabolischen Spiegelfläche (102) versehen ist.

4. Koaxialer Laser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der gegenüber der anderen Stirnfläche des aktiven Mediums (6) liegende zweite Resonatorspiegel (110) mit einer toroidalen Spiegelfläche (112) versehen ist.

5. Koaxialer Laser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein zylindrischer Hohlraum (30) vorgesehen ist.

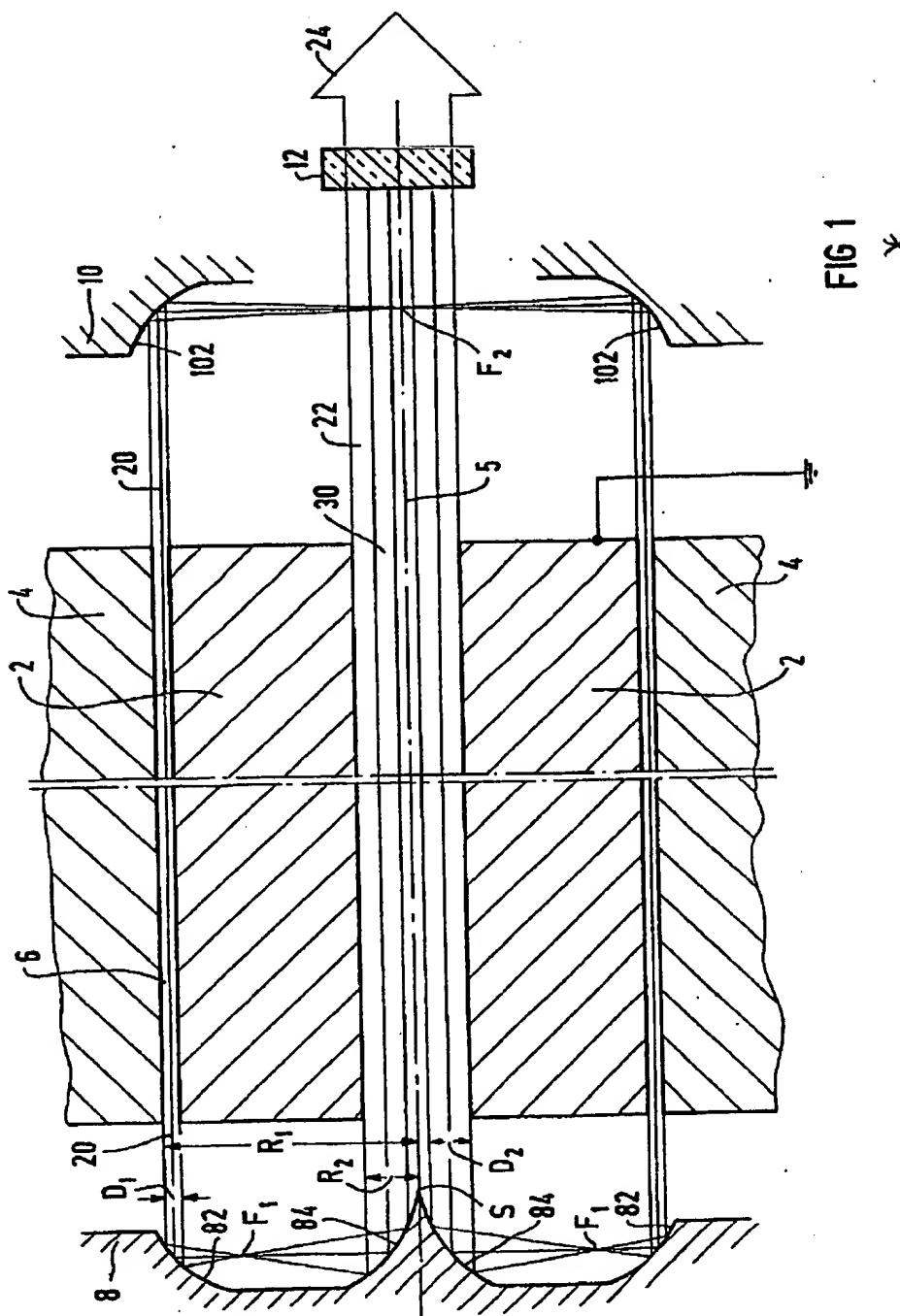
6. Koaxialer Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Hohlraum (32) mit ringförmigem Querschnitt vorgesehen ist.

7. Koaxialer Laser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein gasförmiges, insbesondere CO₂ enthaltendes aktives Medium (6) vorgesehen ist, das sich in einem von einer koaxialen Elektrodenanordnung (2, 4) gebildeten ersten Entladungsraum (6) befindet.

8. Koaxialer Laser nach Anspruch 7 in Verbindung mit Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlraum (32) mit ringförmigem Querschnitt einen zweiten Entladungsraum bildet.

9. Koaxialer Laser nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Resonatorspiegel (10) und/oder die Elektroden (2, 4) in coaxiale Segmente (10a-10d, 2c-2d, 4c-4d) unterteilt sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



1
FIG

ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer: DE 44 24 726 C1
Int. Cl. 5: H 01 S 3/081
Veröffentlichungstag: 1. Februar 1996

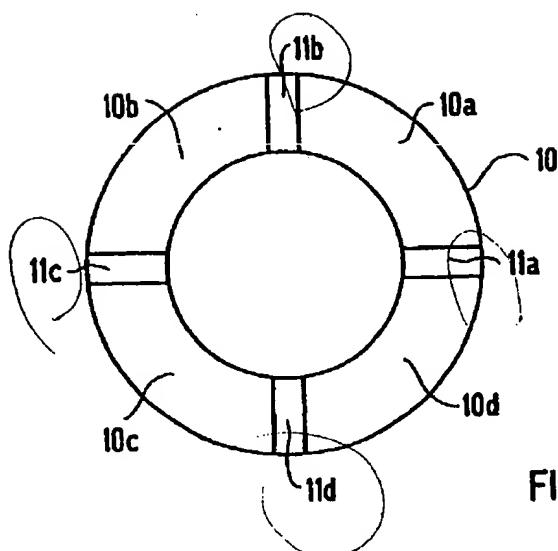


FIG 2

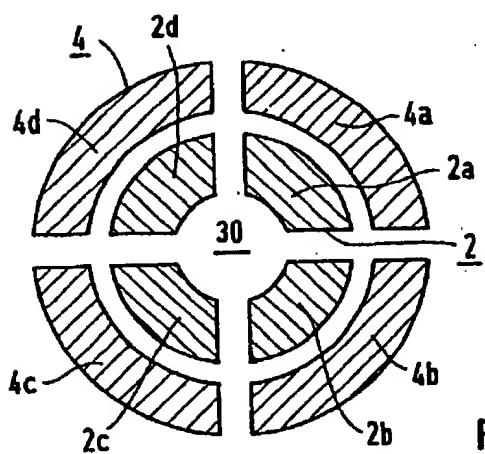
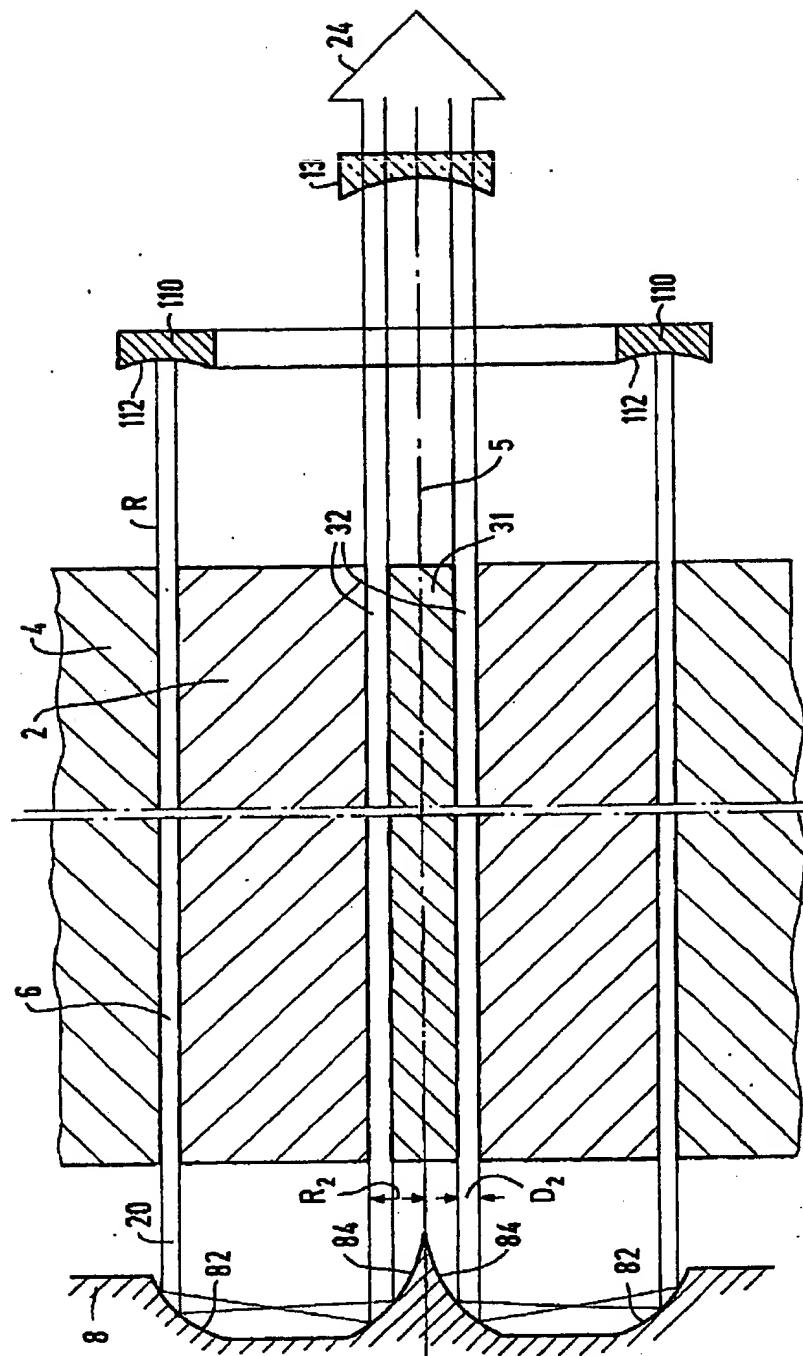


FIG 3

ZEICHNUNGEN SEITE 3

Nummer: DE 44 24 728 €1
Int. Cl.º: H 01 S 3/081
Veröffentlichungstag: 1. Februar 1996



4
FIG